


HIGH SPEED FILM FORMING METHOD USING ROTARY ELECTRODE AND DEVICE THEREFOR

Patent number: JP9104985
Publication date: 1997-04-22
Inventor: MORI YUZO
Applicant: SANYO ELECTRIC CO; MORI YUZO
Classification:
 - international: **C23C16/503; C23C16/509; H01J37/32; C23C16/50; H01J37/32; (IPC1-7): H01L31/04; C23C16/50; H01L21/205; H05H1/46**
 - european: **C23C16/503; C23C16/509; H01J37/32D1B**
Application number: JP19960201722 19960731
Priority number(s): JP19960201722 19960731; JP19950202295 19950808

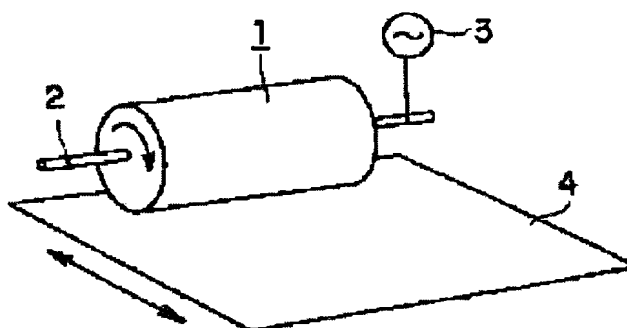
Also published as:

 US5711814 (A1)

Report a data error here

Abstract of JP9104985

PROBLEM TO BE SOLVED: To prepare a high speed film forming method and a high speed film forming device capable of forming a homogeneous thin film with a large surface area at a high speed. **SOLUTION:** A rotary electrode 1 having an electrode surface passing through the vicinity of the surface of a substrate 4 while moving by rotation is provided. A reaction gas is supplied between the surface of the substrate 4 and the rotary electrode 1 by passing the electrode surface through the vicinity of the surface of the substrate 4 while moving by rotating the rotary electrode 1, plasma is generated between the surface of the substrate 4 and the rotary electrode 1 by impressing high-frequency electric power 3, and the thin film is formed on the substrate 4 by its chemical reaction with a reaction gas supplied to the plasma.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-104985

(43) 公開日 平成9年(1997)4月22日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 2 3 C 16/50			C 2 3 C 16/50	
H 0 1 L 21/205			H 0 1 L 21/205	
H 0 5 H 1/46			H 0 5 H 1/46	A
// H 0 1 L 31/04			H 0 1 L 31/04	V

審査請求 未請求 請求項の数43 O L (全 15 頁)

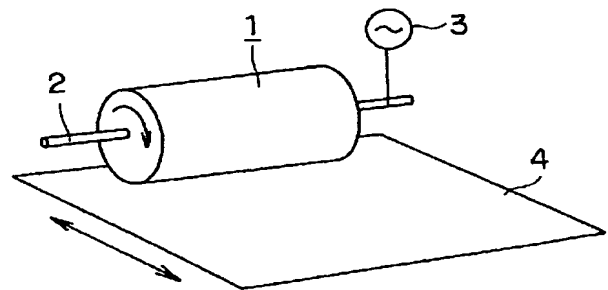
(21) 出願番号	特願平8-201722	(71) 出願人	000001889 三洋電機株式会社 大阪府守口市京阪本通2丁目5番5号
(22) 出願日	平成8年(1996)7月31日	(71) 出願人	000191593 森 勇藏 大阪府交野市私市8丁目16番9号
(31) 優先権主張番号	特願平7-202295	(72) 発明者	森 勇藏 大阪府交野市私市8丁目16番9号
(32) 優先日	平7(1995)8月8日	(74) 代理人	弁理士 目次 誠 (外1名)
(33) 優先権主張国	日本 (J P)		

(54) 【発明の名称】 回転電極を用いた高速成膜方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 均質な薄膜を、高速でかつ大きな面積で形成することができる高速成膜方法及び高速成膜装置を得る。

【解決手段】 回転することにより基板4の表面の近傍を移動しながら通過する電極表面を有する回転電極1を設け、この回転電極1を回転させ基板4の表面の近傍を電極表面が移動しながら通過することにより反応ガスを基板4の表面と回転電極1の間に供給し、回転電極1に高周波電力3を印加することにより、基板4の表面と回転電極1の間にプラズマを発生させ、プラズマ中に供給された反応ガスの化学反応により基板4上に薄膜を形成する方法及び装置。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電極に高周波電力または直流電力を印加することによりプラズマを発生させ、該プラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成する方法において、

前記電極として、回転電極を用いることを特徴とする高速成膜方法。

【請求項 2】 反応容器内でプラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成する方法であって、

回転することにより前記基板表面の近傍を移動しながら通過する電極表面を有する回転電極を準備する工程と、前記回転電極を回転させ、前記基板表面の近傍を前記電極表面が移動しながら通過することにより、前記反応ガスを前記基板表面と前記回転電極との間に供給する工程と、

前記回転電極に高周波電力または直流電力を印加することにより、前記基板表面と前記回転電極の間にプラズマを発生させ、前記プラズマ中に供給された前記反応ガスの化学反応により、前記基板上に前記薄膜を形成する工程とを備える高速成膜方法。

【請求項 3】 前記基板に対して相対的にプラズマ発生領域を移動させながら薄膜を形成することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の高速成膜方法。

【請求項 4】 前記プラズマ発生領域の移動が、前記回転電極全体の移動、あるいは前記基板の移動、もしくは回転電極全体と基板の双方の移動によりなされる請求項 3 に記載の高速成膜方法。

【請求項 5】 前記回転電極の表面にスパイラル状の凸部が形成されており、前記プラズマ発生領域の移動が、前記回転電極の回転により前記基板表面に対し接近している前記回転電極表面の凸部が移動することによりなされる請求項 3 または 4 に記載の高速成膜方法。

【請求項 6】 前記プラズマ発生領域の移動が、前記回転電極の回転とともに、前記基板の移動もしくは回転電極全体と基板の双方の移動によりなされる請求項 5 に記載の高速成膜方法。

【請求項 7】 前記回転電極の電極表面の周速度が 10 m/秒～音速である請求項 1～6 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 8】 反応容器内の全圧が 1 Torr 以上である請求項 1～7 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 9】 前記反応容器内に、前記反応ガス以外に不活性ガスが含有されている請求項 1～8 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 10】 前記不活性ガスが、He、Ne、Ar、Kr、及びXe からなるグループより選ばれる少なくとも 1 種のガスである請求項 9 に記載の高速成膜方法。

【請求項 11】 前記反応ガスの分圧が 0.01 Torr

r 以上である請求項 9 または 10 に記載の高速成膜方法。

【請求項 12】 前記反応容器内に水素ガスが含有されている請求項 1～11 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 13】 前記水素ガスの分圧が 1 Torr 以上である請求項 12 に記載の高速成膜方法。

【請求項 14】 前記高周波電力がパルス状に印加される請求項 1～13 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 15】 前記パルス状に印加される前記高周波電力のデューティ比が 1/100 以上である請求項 14 に記載の高速成膜方法。

【請求項 16】 前記パルス状に印加される前記高周波電力の変調周波数が 100 kHz 以上である請求項 14 または 15 に記載の高速成膜方法。

【請求項 17】 前記電極表面と前記基板表面との間のギャップが 0.01～1 mm である請求項 1～16 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 18】 前記基板の温度が室温～500℃の範囲内である請求項 1～17 のいずれか 1 項に記載の高速成膜方法。

【請求項 19】 電極に高周波電力または直流電力を印加することによりプラズマを発生させ、該プラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成する成膜装置において、前記電極として、回転電極が設けられていることを特徴とする高速成膜装置。

【請求項 20】 反応容器内でプラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成するための装置であって、

回転することにより前記基板表面の近傍を移動しながら通過する電極表面を有する回転電極と、

前記回転電極を回転させるための駆動手段と、

前記反応容器内に前記反応ガスを供給するための反応ガス供給手段と、

前記基板表面と前記回転電極の間にプラズマを発生させるため前記回転電極に高周波電力または直流電力を印加するための電源と、

前記基板を保持する基板ホルダーとを備え、

前記回転電極が回転し、前記基板表面の近傍を前記電極表面が移動しながら通過することにより、前記反応ガスが前記基板表面と前記回転電極の間に供給される高速成膜装置。

【請求項 21】 前記回転電極がドラム状電極である請求項 19 または 20 に記載の高速成膜装置。

【請求項 22】 前記回転電極の表面に凹凸が形成されている請求項 19～21 のいずれか 1 項に記載の高速成膜装置。

【請求項 23】 前記回転電極の回転軸の方向に沿って

ストライプ状の凸部または凹部が前記回転電極表面に形成されている請求項22に記載の高速成膜装置。

【請求項24】 凸部または凹部が回転方向に沿って連続するように前記回転電極表面に形成されている請求項22または23に記載の高速成膜装置。

【請求項25】 前記回転電極表面に絶縁性領域と導電性領域が形成されており、これによってプラズマが発生する電極領域が電極表面上で限定して設けられている請求項19～24のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項26】 前記導電性領域が前記回転電極の回転軸の方向に沿ってストライプ状に形成されている請求項25に記載の高速成膜装置。

【請求項27】 前記導電性領域が回転方向に沿って連続するように形成されている請求項25に記載の高速成膜装置。

【請求項28】 前記回転電極が、複数の円板を回転軸の方向に互いに平行になるように並べて構成されている電極である請求項19に記載の高速成膜装置。

【請求項29】 前記回転電極が、プラズマ発生電極部となる導電性の線材を回転体の周面部に設けた電極である請求項19に記載の高速成膜装置。

【請求項30】 前記回転電極が、前記基板に対して相対的に移動しながら、前記基板上の薄膜形成が行われるように設けられている請求項19～29のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項31】 前記回転電極との間で発生するプラズマを制御するため前記基板の前記回転電極と反対側に設けられるライン状の接地電極またはライン状の磁石をさらに備える請求項19～30のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項32】 前記回転電極を前記基板に対して相対的に移動させるための基板ホルダー移動手段をさらに備える請求項20～31のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項33】 前記基板ホルダーが前記基板を加熱するためのヒーターを備えている請求項20～32のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項34】 前記回転電極の表面全体が絶縁膜により被覆されている請求項19～33のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項35】 前記絶縁膜がセラミックスまたは硬質炭素から形成されている請求項34に記載の高速成膜装置。

【請求項36】 前記絶縁膜の厚みが $1\mu\text{m}$ ～ 1mm である請求項34または35に記載の高速成膜装置。

【請求項37】 前記反応容器内のガスを循環させ、前記ガス内の微粒子を回収して前記ガスから除去するため、前記反応容器に接続されるガス循環系をさらに備える請求項19～36のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項38】 前記ガス循環系に前記ガスを導くため、前記反応容器内に設けられるダクトをさらに備える請求項37に記載の高速成膜装置。

【請求項39】 前記ガスから微粒子を除去するため、前記ガス循環系内に設けられる粉末除去フィルタをさらに備える請求項37または38に記載の高速成膜装置。

【請求項40】 前記ガス循環系が、 $1\sim 100\text{m}^3/\text{分}$ のガス循環流量のガス循環系である請求項37～39のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項41】 前記反応ガスの濃度を測定するための手段をさらに備える請求項19～40のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項42】 前記回転電極の表面の温度を測定するための手段をさらに備える請求項19～41のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【請求項43】 前記回転電極と前記基板表面の間のギャップを測定するための手段をさらに備える請求項19～42のいずれか1項に記載の高速成膜装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマCVD法による成膜方法及びその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】アモルファスシリコン等の薄膜を比較的高い圧力でプラズマCVD法により形成するためのプラズマCVD装置としては、反応容器内に平行平板型電極を設置した装置が知られている。このような装置においては、一方の電極に高周波電力または直流電力を印加し、他方の電極を接地し、これらの電極間でプラズマを発生させている。このようにして発生したプラズマ中に反応ガスを供給し、反応ガスを化学反応で分解することにより、基板の上に所望の薄膜を形成させている。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】このようなプラズマCVD法において、均質な薄膜を形成するためには、プラズマ空間に均一にかつ効率よく反応ガスを供給することが必要となる。しかしながら、基板上に大面積の薄膜を形成する場合、広い領域にわたって反応ガスを均一に効率よく供給することは困難であった。特に、高い圧力で薄膜を形成する場合、反応ガス濃度が高くなるので、プラズマ空間に対する反応ガスの供給が不均一になると、均質な薄膜を形成することができなくなる。

【0004】本発明の目的は、均質な薄膜を、高速でかつ大きな面積で形成することができる高速成膜方法及びその装置を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の高速成膜方法は、電極に高周波電力または直流電力を印加することによりプラズマを発生させ、該プラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成する方法であ

り、電極として、回転電極を用いることを特徴としている。

【0006】本発明に従う成膜方法は、さらに具体的には、反応容器内でプラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成する方法であり、回転することにより基板表面の近傍を移動しながら通過する電極表面を有する回転電極を準備する工程と、回転電極を回転させ基板表面の近傍を電極表面が移動しながら通過することにより反応ガスを基板表面と回転電極の間に供給する工程と、回転電極に高周波電力または直流電極を印加することにより基板表面と回転電極の間にプラズマを発生させ、プラズマ中に供給された反応ガスの化学反応により、基板上に薄膜を形成する工程とを備えている。

【0007】本発明の成膜装置は、電極に高周波電力または直流電力を印加することによりプラズマを発生させ、該プラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成するための装置であり、電極として、回転電極が設けられていることを特徴としている。

【0008】本発明に従う成膜装置は、さらに具体的には、反応容器内でプラズマ中に反応ガスを供給して化学反応により基板上に薄膜を形成するための装置であり、回転することにより基板表面の近傍を移動しながら通過する電極表面を有する回転電極と、回転電極を回転させるための駆動手段と、反応容器内に反応ガスを供給するための反応ガス供給手段と、回転電極に高周波電力または直流電力を印加することにより基板表面と回転電極の間にプラズマを発生させるための電源と、基板を保持する基板ホルダーとを備え、回転電極が回転し、基板表面の近傍を電極表面が移動しながら通過することにより、反応ガスが基板表面と回転電極の間に供給されることを特徴としている。

【0009】本発明において、回転電極は、その電極表面が基板表面に対し略平行となるように設けられていることが好ましい。本発明に従う好ましい局面においては、電極としてドラム状電極が設けられる。また本発明において、回転電極は回転中心となる1つの軸を中心にして回転する電極であることが好ましい。以下、この回転中心となる軸を回転軸という。

【0010】本発明に従えば、以下の(1)～(3)の効果を得ることができる。

(1) プラズマ空間に対して反応ガスを速い速度でかつ均一に供給することができるので、成膜速度及び膜の均質性を大幅に向上することができる。

【0011】(2) 回転電極の回転によりプラズマ空間に反応ガスを効率よく供給することができるので、電極と基板間のギャップを近づけても反応ガスをギャップ間に供給することができ、反応ガスの利用効率を大幅に向上させることができる。

【0012】(3) 電極表面を十分に冷却することがで

きるので、従来よりも大きな電力を投入することができ、成膜速度を大幅に向上することができる。

上記(1)についてさらに詳細に説明する。反応ガスは、流体力学上、粘性を有する物質である。従って、静置した表面の上にガスを流す場合、表面の上のガスの移動速度は0である。従って、従来の固定された基板及び電極のギャップ間にガスを流す場合、それらの表面上のガスは移動しない状態となっている。つまり、基板及び電極はガスの流れに対する障害物となる。本発明に従えば、電極自体が回転するため、電極表面上のガスは、電極表面の移動速度と同じ速度で移動している。従って、電極は障害物どころか反応ガスをプラズマ空間内に供給する原動力となる。従って、電極の回転によって、常に反応ガスをプラズマ空間内に供給することができる。また電極の回転によって反応ガスの流れを制御することにより、均一な反応ガスの流れを形成することができ、均質な薄膜を作製することができる。従って、本発明によれば、反応ガスを容易にプラズマ空間内に供給することができ、成膜のための反応ガス中の原子や分子(反応種)を大量にかつ均一に供給することが可能になる。

【0013】上記(2)についてさらに詳細に説明する。上述のように、本発明に従えば、プラズマ空間内に効率よく反応ガスを供給することができる。従って、回転電極表面と基板間のギャップの距離を近づけても、有効に反応ガスをこれらのギャップ間に供給することができる。従って、基板表面と電極表面のギャップを、ガスの平均自由行程からみたプラズマの発生可能なギャップに近づけることができ、比較的高い圧力の条件下においても、反応ガス中の反応種の使用効率を高め、反応ガスの利用効率を大幅に向上させることができる。従って、回転電極表面の位置及び基板表面とのギャップを高精度に制御し、比較的高い圧力条件下で高速度の成膜を行うことができる。

【0014】上記(3)についてさらに詳細に説明する。成膜速度を高めるためには、反応ガスを十分に供給するとともに、十分な電力を電極に供給する必要がある。従来、大電力を投入すると、電極が過剰に加熱され、電極を損傷するおそれがあった。本発明に従えば、電極として回転電極を用いているので、プラズマ空間内でプラズマにさらされている電極部分は、電極表面全体の一部であり、プラズマ領域から離れた大部分の電極表面は冷却された状態となる。従って、大電力を投入しても、電極が過剰に加熱されることがないので、大電力を投入し、高速成膜を行うことが可能になる。

【0015】本発明においては、電極表面に凹凸を形成することができる。このような電極表面の凹凸の形成により、さらに効率よくプラズマ空間に対し反応ガスを供給することができる。

【0016】このような電極表面の凹凸は、例えば、回転軸の方向に沿ってストライプ状に凸部または凹部を電

7

極表面に形成することにより設けることができる。また回転軸の方向に沿ってストライプ状に凸部または凹部を形成することにより、断続的にプラズマを発生することが可能になる。すなわち、基板に対し凸部が接近したときにのみプラズマを発生させ、凹部が接近したときにプラズマの発生を断つようにすることができる。このような断続的なプラズマ放電により、成膜速度を制御し均質な薄膜を形成することが可能になる。

【0017】また、本発明においては、凸部または凹部を、電極の回転方向に沿って連続するように電極表面に形成してもよい。このような電極は、例えば、複数の円板を回転軸の方向に互いに平行になるように並べて構成される電極である。また、ドラム状電極の電極表面に周方向にループ状に延びる凸部や、溝などの凹部を形成してもよい。このような電極にすることにより、凸部や、凹部間の突出部が設けられた部分で優先的にプラズマが放電され、所定の部分で薄膜の厚みを厚くするように制御することができる。従って、薄膜を優先的に形成したい領域にこのような凸部を形成し、膜厚を制御してパターンを形成することができる。

【0018】また、本発明においては、電極表面に絶縁性領域と導電性領域を形成し、これによってプラズマが発生する電極領域を電極表面上に限定して設けることができる。絶縁性領域は、例えば、電極表面に溝または孔を形成し、このような溝または孔に絶縁材料を埋め込むことにより形成することができる。このような導電性領域及び絶縁性領域のパターンは、種々のパターンを採用することができる。例えば、導電性領域を回転軸の方向に沿ってストライプ状に形成することができる。このような電極は、例えば、回転軸方向に沿うストライプ状の溝を電極表面に形成し、このような溝に絶縁材料を埋め込むことにより、その他の領域をストライプ状の導電性領域として形成することができる。このような電極を用いることにより、上述のストライプ状凸部または凹部の場合と同様に断続的なプラズマ発生を実現することができる。

【0019】また導電性領域及び絶縁性領域を回転方向に沿って連続するように形成することもできる。このような電極は、例えば、電極表面に回転方向に沿うループ状の溝を形成し、この溝に絶縁材料を埋め込むことにより形成することができる。これにより、上述の凸部または凹部を回転方向に沿って連続して形成した電極と同様に、導電性領域に対応する基板上に優先的に薄膜を形成することができる。

【0020】また本発明においては、回転電極の周面部に導電性の線材を張りつけ、このような導電性の線材をプラズマ発生の印加電極部としてもよい。このような線材は、例えば、回転電極の周面部において網目状に形成される。

【0021】本発明において、大きな面積の薄膜を形成

8

する場合には、電極を基板上で相対的に移動させ、プラズマ発生領域を基板上で移動させながら薄膜を形成する。電極を基板に対して移動させてもよいし、基板を電極に対して移動させてもよい。さらには電極と基板をともに移動させてもよい。

【0022】このように電極を基板に対して相対的に移動させる場合には、電極との間でプラズマを発生させるための接地電極をライン状の電極として設け、このライン状の接地電極を回転電極の移動とともに移動させることができる。接地電極をライン状の電極とすることにより、プラズマを集中させて形成することができ、プラズマ空間が広がることによる問題、例えば、薄膜が大きな粒子として堆積されるなどの問題を解消することができる。

【0023】またプラズマを集中させるため、別の手段として、基板の下側に磁石を設置してもよい。このような磁石としては、ライン状の接地電極と同様に、ライン状の磁石を設け、必要に応じてこの磁石を回転電極の移動とともに移動させることができる。

【0024】本発明においては、電極として、回転電極を用いている。従って、電極の回転とともに、電極表面の反応ガスがプラズマ発生領域に供給され、反応ガスの供給効率が向上する。このため、均質な薄膜をより速い速度で形成することができる。

【0025】また電極表面に凸部または導電性領域を形成することにより、断続的なプラズマ発生を行うことができる。従って、反応ガス分解生成物の気相中での凝集を抑制し、より均質な薄膜形成が可能となる。

【0026】上述のように本発明は、反応ガスをより均一にプラズマ空間に供給することができる方法である。従って、特に高い圧力で薄膜を形成する場合に有用である。例えば、雰囲気圧力、すなわち反応容器内の全圧が1 Torr以上の条件下で特に有用である。反応ガスの分圧としては、0.01 Torr以上の条件が好ましい。反応容器内の全圧は、より好ましくは100 Torr～1 atmであり、さらに好ましくは約1 atmである。反応ガスの分圧は、より好ましくは0.1～50 Torrであり、さらに好ましくは5～50 Torrである。

【0027】反応容器内には反応ガス以外に不活性ガスを含有させることができる。このような不活性ガスとしては、He、Ne、Ar、Kr、及びXeなどが挙げられる。

【0028】反応容器内には、さらに水素ガスを含有させることができる。水素ガスの分圧としては、1 Torr以上が好ましく、より好ましくは1～50 Torrである。反応容器内に水素ガスを添加することにより、反応ガスの分解により生じる微粒子の生成を減少させることができる。水素ガスを添加することにより微粒子の生成が減少する詳細な理由については明らかでないが、以

下のように推測される。

【0029】第1には、添加した水素ガスがプラズマ内で分解することにより、原子状水素が生成し、この原子状水素が、シランガス (SiH_4) などの反応ガスからの分解生成物、例えば SiH_n ($n=1\sim3$) と反応することにより、分解生成物同士の凝集が妨げられるものと考えられる。

【0030】第2には、水素ガスを添加することにより、投入電力の一部が水素の分解等に消費されるため、シランガスなどの反応ガスの分解に利用される電力は実質的に減少し、その結果シランガスなどの反応ガスの分解量が減少するものと思われる。以上の理由により、反応ガス分解物の凝集が減り、微粉末の発生が減少するものと推測される。

【0031】電極表面の周速度としては、 $10\text{m}/\text{秒}$ 以上、音速以下が好ましい。周速度がこの範囲よりも小さいと、プラズマ空間に対する反応ガスの供給が不十分となる場合がある。また周速度が音速以上になると、音速を超えることによる衝撃波等の問題が生じる。電極表面の周速度として、より好ましくは、 $50\text{m}/\text{秒}\sim$ 音速であり、さらに好ましくは $50\sim200\text{m}/\text{秒}$ である。

【0032】回転電極と基板との間の距離は、反応ガスの平均自由行程程度が好ましい。従って、シランガス等を反応ガスとして用いる場合には、電極と基板との間の距離は、 $0.01\sim1\text{mm}$ 程度が好ましい。電極と基板との間の距離は、より好ましくは $0.01\sim0.3\text{mm}$ であり、さらに好ましくは $0.05\sim0.3\text{mm}$ である。

【0033】本発明において、回転電極に高周波電力を印加する場合、パルス状に印加することが好ましい。高周波電力をパルス状に印加することにより、安定したプラズマを広範囲に維持することができる。さらには、反応ガス分解により微粒子の発生を抑制し、膜質を向上させることができる。パルス状に印加する高周波電力のデューティ比としては、 $1/100$ 以上が好ましい。またパルス状に変調する変調周波数としては、 100kHz 以上が好ましい。

【0034】また、本発明において回転電極に高周波電力を印加する場合の高周波電力の周波数としては、 13.56MHz 以上が好ましく、さらに好ましくは 150MHz 以上である。

【0035】また、本発明において高周波電力の投入電力密度としては、 $10\text{W}/\text{cm}^2$ 以上が好ましく、より好ましくは $10\sim100\text{W}/\text{cm}^2$ であり、さらに好ましくは $30\sim100\text{W}/\text{cm}^2$ である。

【0036】本発明において薄膜形成の際の基板温度としては、室温 $\sim500^\circ\text{C}$ が好ましく、より好ましくは室温 $\sim300^\circ\text{C}$ である。本発明の成膜装置においては、回転電極の表面全体が絶縁膜により被覆されていることが好ましい。回転電極の表面全体を絶縁膜で被覆することに

より、基板が金属等の導電性材料であっても、安定してプラズマを広範囲に発生し維持することができる。絶縁膜の材質としては、絶縁性のセラミックスまたはダイヤモンド及びダイヤモンド状炭素被膜などの硬質炭素被膜が好ましい。絶縁性のセラミックスとしては、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 CaO 、 MgO 、 BaO などの酸化物、 CaF_2 、 MgF_2 などのフッ化物、 CaTiO_3 、 BaTiO_3 などのその他の化合物、並びにSiの炭化物及び窒化物などが好ましい。

【0037】絶縁膜の厚みとしては、 $1\mu\text{m}\sim1\text{mm}$ が好ましい。絶縁膜の厚みが薄すぎると絶縁膜に破壊が生じ、絶縁膜による被覆の効果が得られない場合があり、絶縁膜が厚すぎると、安定したプラズマを発生することができない場合がある。

【0038】本発明に従う好ましい局面の成膜装置は、さらに、反応容器内のガスを循環させ、ガス内の微粒子を回収してガスから除去するためのガス循環系が反応容器に接続されている。このようなガス循環系を備えることにより、反応容器内のガス中の微粒子を減少させることができ、より良好な膜を形成させることができる。

【0039】ガス循環系において微粒子を除去する手段としては、粉末除去フィルタを挙げることができる。粉末除去フィルタは、例えば、アニオン交換繊維やカチオン交換繊維などのアクリル繊維をフィルタ状に成型したものが用いられる。

【0040】また、ガス循環系に送られる反応容器内のガスは、反応容器内に設けたダクトからガス循環系に送ることができる。このようなダクトは、回転電極と基板の間に存在する微粒子を除くため、回転電極と基板の間に吸引口を位置させるように設けられることが好ましい。また、このようなダクトの材質としては、高周波誘電損失の少ない材質が好ましく、例えばテフロン、アルミナ等を用いることが好ましい。

【0041】ダクトの吸引口における吸引速度としては、電極表面の周速度と同じ速度以上であることが好ましく、より好ましくは電極表面の周速度の2倍以上であり、さらに好ましくは電極表面の周速度の10倍以上である。

【0042】また循環系におけるガスの流量は、好ましくは $1\sim100\text{m}^3/\text{分}$ である。また本発明の成膜装置においては、反応容器内の反応ガスの濃度を測定するための手段が設けられていることが好ましい。このような濃度センサーは、反応容器内に設けられていてもよいし、上述のガス循環系に設けられていてもよい。このような濃度センサーとしては、例えば、FTIR (フーリエ変換赤外吸収スペクトル) を測定するセンサーなどが挙げられる。

【0043】上記のような反応ガスの濃度測定に応じ、反応ガスを供給する手段をさらに設け、反応容器内の反応ガスの濃度を一定に保持することができる。また

本発明の成膜装置においては、反応ガスの温度を測定する手段及び回転電極の表面の温度を測定する手段などが設けられることが好ましい。回転電極の表面の温度を測定するセンサーとしては、例えば赤外放射温度計等が挙げられる。このような回転電極の表面の温度を制御する方法としては、センサーで測定した測定結果に応じて、ガス循環系に設置した熱交換機により循環ガスを冷却し、冷却した循環ガスを反応容器内に導入することによって、回転電極の表面温度を制御する方法が挙げられる。

【0044】また本発明の成膜装置においては、回転電極と基板表面の間のギャップを測定する手段が設けられていることが好ましい。このようなギャップの測定装置としては、例えばレーザー光量モニター等が挙げられる。具体的には、回転電極と基板表面の間のギャップに、側面からレーザーを照射し、対向する側に設置したセンサーで光量を検出し、この光量変化からギャップ間の距離を測定するセンサーが挙げられる。このようなセンサーの測定結果に応じて、例えば基板ホルダーを上下動することにより回転電極と基板表面の間のギャップを制御することができる。

【0045】本発明の薄膜形成方法に従えば、電極の回転とともに、反応ガスをプラズマ空間に供給することができ、プラズマ空間に対するガス供給の効率を向上させることができる。従って、より均質な薄膜を形成することができる。

【0046】また、電極の凸部または導電性領域等の電極領域が周期的に基板に近づくように電極を回転運動させる場合には、所定の周期で断続的にプラズマを発生させることができる。

【0047】本発明において、回転する電極の位置を基板に対して移動させない場合には、回転軸に平行なライン状に薄膜を形成することができる。また基板に対し電極を移動させ、プラズマ発生領域を基板に対して移動させる場合には、ライン状の薄膜形成領域を移動させながら薄膜を形成することとなり、大きな面積の薄膜を形成することができる。

【0048】本発明に従い形成することが可能な薄膜としては、例えば、Si、C（ダイヤモンドを含む）、SiC、SiO₂、Si₃N₄、Al₂O₃、AlNなどを挙げることができる。またこれらの薄膜を形成するための反応ガスとしては、SiH₄、Si₂H₆、TEOS（Si（OC₂H₅）₄）等のSiを含むガス、CH₄、CH₃OH、CO、CO₂等のCを含むガス、TMA（Al（CH₃）₃）等のAlを含むガス、及びO₂、N₂O、N₂等のOまたはNを含むガスなどが挙げられる。これらの反応ガスを用いることにより、様々な薄膜を形成することができる。

【0049】具体的にはダイヤモンド薄膜を含む炭素被膜を形成する場合には、CH₄、C₂H₂、C₂H₆、

CH₃OH、C₂H₅OH、CO、CO₂などと、H₂、H₂Oなどを組み合わせた反応ガスを用いることができる。

【0050】SiO_x膜を形成する場合には、SiH₄、Si₂H₆、SiCl₄、SiHCl₃などと、O₂、CO₂、N₂O、H₂Oなどを組み合わせた反応ガスを用いるか、あるいはTEOS（ポリエトキシシラン）を用いることができる。

【0051】SiC膜を形成する場合には、SiH₄、Si₂H₆、SiCl₄、SiHCl₃、Si（CH₃）₂（OCH₃）₂などと、CH₄、C₂H₂、C₂H₆、CO、CO₂などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。

【0052】SiN膜を形成する場合には、SiH₄、Si₂H₆、SiCl₄、SiHCl₃などと、N₂、NH₃などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。

【0053】AlN膜を形成する場合には、Al（CH₃）₃、Al（C₂H₅）₃などと、N₂、NH₃などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。AlO_x膜を形成する場合には、Al（CH₃）₃、Al（C₂H₅）₃などと、O₂、H₂O、N₂O、CO₂などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。

【0054】TiN膜を形成する場合には、TiCl₄などと、N₂、NH₃などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。TiO_x膜を形成する場合には、TiCl₄などと、O₂、H₂O、N₂O、CO₂などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。

【0055】TiC膜を形成する場合には、TiCl₄などと、CH₄、C₂H₂、C₂H₆、CO、CO₂などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。ZrO_x膜を形成する場合には、ZrCl₄、Zr（OC₃H₇）₄、Zr（CH₂COCH₂COCF₃）₄などと、O₂、H₂O、N₂O、CO₂などを組み合わせた反応ガスを用いることができる。

【0056】

【発明の実施の形態】図1は、本発明に従う一実施形態を説明するための斜視図である。図1を参照して、本実施形態においては、回転軸を中心にして回転する電極として、ドラム状電極1を用いている。ドラム状電極1は、回転軸2を中心として回転するように設けられている。本実施形態においては、ドラム状電極1に印加する電力として高周波電力が用いられており、回転軸2には高周波電源3が電気的に接続されている。ドラム状電極1は、基板4上に、その回転軸2が基板4の表面に対しほぼ平行になるように設けられている。基板4の下には一般に接地電極（図示せず）が設けられており、この接地電極に最も近いドラム状電極1の電極表面と、接地電極との間でプラズマ放電がなされる。

【0057】ドラム状電極1は、図1に矢印で示す方向

に回転しており、この回転にともない電極表面近傍のガスも電極表面とともに移動する。このため、プラズマ空間に対して電極表面近傍のガスが常に供給される。従って、反応ガスの供給効率を向上させることができる。ドラム状電極1と基板4の位置が相対的に固定された状態では、ドラム状電極1の下方に、ライン状の薄膜が形成される。ドラム状電極1を基板4に対して相対的に移動させることにより、このようなライン状の薄膜を連続して回転軸2に対し略垂直方向に形成させることができる。従って、大面積の薄膜を形成することができる。

【0058】図2は、図1に示す実施形態におけるドラム状電極を示す斜視図である。上述のように、ドラム状電極1の表面でプラズマ放電がなされるので、ドラム状電極1に印加する電源が回転軸2に電氣的に接続される場合には、回転軸2と電極表面との間で電氣的な接続がなされている必要がある。このようなドラム状電極としては、一般的に金属製ドラムを用い、回転軸2としては、金属製の棒を用いることが好ましい。

【0059】図3は、本発明に従う他の実施形態におけるドラム状電極を示す斜視図である。図3に示す実施形態のドラム状電極10においては、電極表面に回転軸12の方向に沿うストライプ状の凸部11が複数一定間隔で設けられている。

【0060】図4は、図3に示すドラム状電極によりプラズマを発生させる状態を示す模式図である。図4に示すように、ドラム状電極10の電極表面の凸部11が基板4に近づいたときにプラズマ13が発生する。凸部11の先端と基板4との間には、上述のように反応ガスの平均自由行程程度としておくことが好ましく、具体的には0.01~1mmの範囲内が好ましく、さらには0.01~0.1mmの範囲内としておくことが好ましい。

【0061】従って、本実施形態によれば、凸部11が基板4に近づいたときにプラズマを発生させることができるので、断続的にプラズマを発生させることができる。また条件の設定によっては、連続的にプラズマを発生させ、プラズマの強度を周期的に変化させることができる。

【0062】例えば、ドラム状電極の表面に1000個の凸部（ドラム状電極の直径が30cmの場合約1mmのピッチで凸部が形成されることに相当する）を形成したドラム状電極を、回転数18,000rpm（300Hz）で回転させて断続的（300kHz）にプラズマを発生させることができる。この場合、印加電力として、150MHzの周波数の電源を用いる場合には、150MHzに300kHzの変調がなされることになる。

【0063】また直流（DC）電源を用いる場合には、300kHzの交流電圧を印加していることになる。ドラム状電極の直径をより大きく、あるいは表面の凸部のパターンをより微細にすることにより、より高い変調

（交流）電圧の印加が可能となる。

【0064】また、本実施形態に従えば、電極表面に凸部11が形成されているため、その回転による反応ガスの供給も、より効率よく行うことができるようになる。図5は、本発明に従うさらに他の実施形態を示す模式図である。図5に示す実施形態においては、ドラム状電極20の表面に凸部21が、図4に示す実施形態と同様に形成されている。従って、この凸部21は回転軸の方向に沿うストライプ状に形成されている。本実施形態では、凸部21の間のストライプ状の溝24の部分に、アルミナ（ Al_2O_3 ）、石英（ SiO_2 ）、テフロンなどの絶縁材22が埋め込まれている。従って、本実施形態においては、電極表面はフラットであり、その表面に凹凸が形成されていない。しかしながら、電極表面には凸部21による導電性領域21aと、絶縁材22による絶縁性領域22aが形成されている。導電性領域21aは回転軸方向に沿うストライプ状に形成されており、同様に絶縁性領域22aも回転軸方向に沿うストライプ状に形成されている。

【0065】本実施形態においても、図4に示す実施形態と同様に、導電性領域21aが基板4に近づいたときにプラズマ23が発生する。従って、断続的にプラズマを発生させることができる。また条件によっては、連続的にプラズマを発生させ、導電性領域21aの近接に伴い周期的に強くなるようにプラズマの強度に強弱の変化をもたせることができる。

【0066】なお、本発明において、導電性領域及び絶縁性領域の形成方法は、図5に示す実施形態に限定されるものではなく、導電性領域に電力が印加されるように構成されていればよい。

【0067】図6は、本発明に従うさらに他の実施形態におけるドラム状電極を示す斜視図である。本実施形態のドラム状電極30においては、電極表面に螺旋状の溝31が形成されている。本実施形態のドラム状電極30も、回転軸32の回転により回転するように設けられる。本実施形態においては、電極表面に螺旋状の溝31が形成されている。従って、電極表面の周面に沿って螺旋状に凸部及び凹部が形成されている。このような電極30を基板の上で回転させると、基板表面に対して最も接近している凸部は電極の回転によって、回転軸の方向に連続的に移動する。従って、本実施形態のドラム状電極を用いれば、プラズマ発生領域を回転軸の方向に沿って連続的に移動させながら薄膜形成を行うことができる。

【0068】本実施形態に従えば、プラズマ発生のための電極部分となる凸部が、回転電極に対して一定間隔で周期的に存在している。従って、プラズマ発生箇所を制限することができ、かつその発生箇所を周期的に移動させることができる。従って、プラズマ発生領域を制限し、均質な薄膜を形成することができる。

【0069】また本実施形態に従えば、電極表面に螺旋状の溝31が形成されているので、このような溝の回転により反応ガスをプラズマ空間に対し効率よく供給することができる。また螺旋状の溝であるため、回転方向のみならず回転軸方向に対しても反応ガスを移動させることができ、より効率よく反応ガスの供給を行うことができる。

【0070】図7は、本発明に従うさらに他の実施形態における電極を示す斜視図である。図7に示す実施形態においては、複数の円板電極41を互いに平行になるように回転軸方向に並べることにより回転電極40が構成されている。複数の円板電極41は回転軸42に取り付けられている。本実施形態においては、円板状電極41が所定の間隔で並べて設けられており、この円板状電極41と基板との間でプラズマ空間が形成される。従って、プラズマ空間は円板状電極41の間隔に対応して形成され、対応の基板上の領域のみに薄膜形成がなされる。従って、基板上の特定の領域のみに薄膜を形成する場合に本実施形態の電極を用いることができる。

【0071】また本実施形態のドラム状電極40を基板に対して移動させながら薄膜形成を行うことにより、それぞれの円板状電極41に対応した領域上を走査したようなストライプ状の薄膜を形成することができる。また、円板状電極の板面に対して直交する方向に電極全体を動かすことで、面状に薄膜を形成することができる。

【0072】本実施形態においては、円板状電極41の間にスペースが形成されることになる。従って、このようなスペースを通しての反応ガスの供給も可能となる。例えば、このような円板状電極41のスペースの間に反応ガスを供給することにより、このようなスペースを通してプラズマ発生領域に反応ガスをより効率よく供給することが可能になる。また本発明においては、このようなスペースに絶縁材を埋め込んだような電極も用いることができる。

【0073】また図7に示す実施形態において、円板状電極41を回転軸42に対して垂直方向からやや傾斜させて取り付けることにより、図6に示す螺旋状の溝と同様に、プラズマ発生領域を回転軸42の方向に移動させることができる。従って、円板状電極41を傾斜させて取り付けた場合には、全面に薄膜を形成させることが可能になる。

【0074】図8は、本発明に従うさらに他の実施形態における電極を示す斜視図である。図8に示す実施形態においては、回転軸54に円板状の側板51及び52が取り付けられており、この円板状側板51及び52の間に線材53が張りめぐらされている。線材53は網目状に張りめぐらされている。このような回転電極50を用いることにより、線材53と基板との間でプラズマ空間が形成される。このような回転電極の周面に網目状の線材53を設けた電極を用いることにより、断続的なプラ

ズマ発生が可能になる。さらには網目状に形成されているため、回転電極50中の空間を通して反応ガスをプラズマ発生領域に供給することもできる。

【0075】図9は、図1及び図2に示すようなドラム状電極を用いて薄膜形成する状態を示す模式図である。本実施形態においては、基板4の下に接地電極として金属などからなるライン状電極5を設けている。図9に示すように、ドラム状電極1に高周波電力または直流電力を印加することにより、接地電極5に最も接近した電極表面部分と接地電極5との間でプラズマ6が発生する。ドラム状電極1は矢印A方向に回転しているが、最も近接する電極表面は常に同じ位置であるので、プラズマ6は常に同じ位置で発生した状態となる。一方電極表面近傍に存在する反応ガス分子は、電極表面の矢印A方向の回転とともに移動し、プラズマ発生領域6に供給される。従って、反応ガス分子が常に一定してプラズマ発生領域6に供給されることとなり、均質な薄膜を、より速い速度で形成することができる。

【0076】図10は、基板4に対してドラム状電極1の位置を移動せずに薄膜形成した場合の薄膜形成領域を示す平面図である。図10に示すように、ライン状の薄膜7が形成される。

【0077】本実施形態においては、接地電極としてライン状の電極を用いているため、発生したプラズマを集中させることができる。そのため、より低い電力でプラズマを発生させることが可能となる。

【0078】実施例1

図11に示すようなドラム状電極を用いて、アモルファスシリコン薄膜を形成した。すなわち、本実施例では、図9に示す装置において、ライン状接地電極を設けないような装置を用いている。反応ガスとしては、Heガスを希釈ガスとして用いた0.1%のSiH₄ガスを用いた。雰囲気圧力は1気圧とした。基板としてはガラス基板を用いた。

【0079】ドラム状電極の直径としては100mm、ドラム状電極の回転軸方向の長さとしては100mmのものを用いた。ドラム状電極と基板との間の距離は0.1mmとなるように設定した。なおSiH₄分子の平均自由行程は約100μmである。

【0080】ドラム状電極の回転数は18,000rpmとし、周速度において94m/秒となるようにした。投入電力としては、300W、150MHzの高周波電力を用いた。成膜は3分間行った。以上の結果、膜厚1.5μmのアモルファスシリコン薄膜が、図10に示すようなライン状薄膜として形成された。

【0081】比較例

比較として、ドラム状電極1を回転せずに、その他の条件は上記実施例1と同様にして薄膜を形成した。この結果、形成されたアモルファスシリコン薄膜の膜厚は0.2μmであり、また膜厚が不均一であり、膜表面に凹凸

が存在していた。

【0082】実施例2

図9に示すようなドラム状電極及びライン状接地電極を有する装置を用いて、アモルファスシリコン薄膜を形成した。ライン状接地電極としては、アルミニウムからなる電極(幅1mm、長さ100mm)のものを用いた。またドラム状電極に投入する電力としては、200W、150MHzの高周波電力を用いた。その他の条件は全て上記の実施例1と同様の条件で成膜した。

【0083】成膜時間3分間で、膜厚1.5μmのアモルファスシリコン薄膜が、図10に示すようなライン状薄膜として形成された。このことから明かなように、ライン状接地電極を設けることにより、電界を集中することができ、実施例1の300Wより低い200Wで、同等のアモルファスシリコン薄膜を形成することができた。

【0084】実施例3

図9に示すようなドラム状電極及びライン状接地電極を用い、基板を移動させながらアモルファスシリコン薄膜を形成した。基板を毎分1mmの速度で、ドラム状電極の回転軸方向と垂直方向に10cm移動させながら成膜を行った。成膜条件としては、上記実施例2と同様の条件で行った。この結果、10cm角の領域において、膜厚5000Åのアモルファスシリコン薄膜が形成された。薄膜の表面は平坦で、微粒子が認められず、均質で良好な膜質であった。

【0085】実施例4

回転電極として、ドラム状電極の表面にスパイラル状の溝を形成したものをを用いた。図12は、このようなドラム状電極の表面の回転軸方向の断面を示している。図12に示すように、ドラム状電極61の表面には、スパイラル状の凸部61aとスパイラル状の溝61bが形成されている。凸部61aの高さhは1mmであり、スパイラル状凸部61a及びスパイラル状溝61bの幅W₁及びW₂はいずれも0.5mmである。ドラム状電極61の直径は100mmであり、回転軸方向の長さは100mmである。

【0086】その他の条件は上記実施例2と同様にし、ドラム状電極を回転させながらシリコン薄膜を形成した。3分間の成膜時間で膜厚1.8μmのアモルファスシリコン薄膜が形成された。薄膜の表面は平坦であり、微粒子が認められない良好な薄膜が均一に形成された。

【0087】実施例2との比較から明かなように、ドラム状電極の表面に凹凸を設けることにより、より高速に膜形成を行うことができる。図13は、本発明に従う実施例の成膜装置を示す側方から見た断面図であり、図14は正面から見た断面図である。図13及び図14を参照して、反応容器70内にはドラム状電極である回転電極71が設けられている。回転電極71の中心の回転軸71aは、その両側に設けられた軸受け部72a及び

72bにより支持されている。図14に示すように、回転軸71aは、駆動手段であるモーター73により回転するように設けられている。

【0088】回転電極71の下方には、基板を載せるための基板ホルダー74が設けられている。基板ホルダー74はテーブル75の上に載せられている。テーブル75は図13における左右方向(X軸方向)及び図13における上下方向(Z軸方向)に移動可能なテーブルである。

【0089】回転電極71は直径300mm、幅100mmの寸法を有し、最高の回転速度は5000rpmであり、その時の周速度は79m/秒である。図19は、回転電極71の表面に形成される絶縁膜71bを示す断面図である。図19に示すように、本実施例で用いる回転電極71の表面全体には、絶縁膜71bが形成されている。本実施例では、絶縁膜としてアルミナ膜が用いられ、膜厚は100μmに設定されている。

【0090】回転電極71に高周波電力を印加するための高周波電源78は、反応容器70の上方に設けられた共振器77に接続されている。高周波電源78からの電力は共振器77、板状の電力伝達部材76を通り、軸受け部72a及び72bを介して回転軸71aに与えられる。このようにして高周波電力が印加された回転電極71と基板ホルダー74との間でプラズマが発生する。

【0091】回転電極71の回転により反応ガスが回転電極71と基板との間に導かれ、これらの間で発生しているプラズマにより反応ガスが分解されて、基板上に薄膜が形成される。テーブル75をX軸方向に移動させることにより、このような薄膜を基板上に連続して形成することができる。

【0092】図15は、反応容器70に接続されるガス循環系80を説明するための概略構成図である。ドライポンプ82により、反応容器70内のガスが排出口85aからガス循環系80に送り出され、供給口85bから再び反応容器70内に戻される。ガス循環系80に送られたガスは、まず粉末除去フィルタ81により、ガス中に含有される微粉末が除去される。この微粉末は、反応容器内において反応ガスが分解することにより生成したものである。このような微粉末が反応容器内に含有されていると、基板上に形成する薄膜中にこのような微粉末が取り込まれ、膜に凹凸が形成され、膜質が悪くなる。粉末除去フィルタ81では、このような微粉末を除去する。

【0093】次にドライポンプ82を通り水吸着筒84を通り、供給口85bから反応容器70内に戻される。ドライポンプ82から排出される排出ガスは、SiH₄除外装置83を通り外部に排出される。

【0094】反応容器70へは、He容器86a、H₂容器86b、CH₄容器86c、SiH₄容器86dから、ガスが供給される。なお、これらのガスはSiC薄

膜を形成する場合の原料ガスの組み合わせの一例である。

【0095】図16は、反応容器内に設けられる、上述のガス循環系へのガスの排出口となるダクトを示す斜視図である。図16に示すように、ダクト87の先端は幅の狭い領域に配置できるようにテーパ状に形成されており、その先端に吸引口87aが形成されている。

【0096】図17は、図16に示すダクトの反応容器内における配置状態を説明するための正面図である。図17に示すように回転電極71と基板88の間にダクト87の先端の吸引口87aが近づくように配置される。このように吸引口87aをプラズマ発生領域に近づけることにより、薄膜形成領域における微粒子をより効率的に取り除くことができる。ダクトにおける吸引の流速は、上述のように回転電極71の周速度より速いことが望ましく、本実施例では、2倍に設定している。

【0097】図18は、基板ホルダーに設ける加熱ヒーターを説明するための斜視図である。図18に示すように、基板ホルダー74内には、加熱ヒーター79が設けられている。この加熱ヒーター79は、円筒形のカートリッジ型ヒーターである。このような加熱ヒーター79により、基板88の温度を加熱することができる。

【0098】図20は、反応容器内に設けられる回転電極と基板間のギャップを測定する装置の一例を示す概略構成図である。図20を参照して、反応容器70内には、回転電極71と基板88のギャップを挟み対向するようにコリメータレンズ92と集光レンズ93が設けられている。コリメータレンズ92には、光ファイバー91を介して光源90が接続されている。光源90としては、例えばレーザー光源を用いることができる。具体的には波長635nm、発光パワー5mWのレーザー光源などを用いることができる。集光レンズ93には光ファイバー94を介して検知器95が接続されている。検知器95としては例えばフォトダイオードなどを用いることができる。

【0099】光源90から出射された光は、光ファイバー91を通りコリメータレンズ92により整形され、回転電極71と基板88の間のギャップに照射される。コリメータレンズ92から照射される光は、回転電極71と基板88のギャップよりも幅の広い光束であるため、回転電極71と基板88で妨げられ、これらの間を通過した、より幅の狭いレーザ光が集光レンズ93により集光され、光ファイバー94を通り検知器95で検知される。検知器95で検知される光量は、回転電極71と基板88のギャップ間の距離に応じて増減するため、この光量を測定することにより、ギャップ間の距離を測定することができる。

【0100】以上のようにして測定したギャップ間の距離の情報に応じて、本実施例では、図13及び図14に示すテーブル75を上下動させ、回転電極と基板間のギ

ャップを調整することができる。

【0101】実施例5

テフロン製のダクトを用い、循環ポンプとして排気速度 $1\text{ m}^3/\text{分}$ のドライポンプを用い、粉末除去フィルタとして $0.1\text{ }\mu\text{m}$ メッシュのフィルタを用いて図15に示すようなガス循環系を反応容器に接続し、Si膜を形成した。この結果、ガス循環系を接続しない場合に比べ、膜中への微粒子の混入が著しく少なくなり、均質なSi膜が形成された。

【0102】実施例6

周波数 150 MHz の高周波を、周期 10 kHz ($100\text{ }\mu\text{s}$)、デューティ比 $1/50$ 、電力 500 W で印加し、Si膜を形成した。パルス状でなく連続して高周波を印加する場合に比べ、膜中上の微粒子の混入が少なくなり、より均質なSi膜を形成することができた。

【0103】実施例7

反応容器内に水素ガスを1%添加し、水素ガス添加の効果を検討したところ、水素ガスを添加しないものに比べ、水素ガスを1%添加した場合には、微粒子の発生が著しく減少し、膜中への微粒子の混入も少なく、均一なSi膜を形成することができた。

【0104】実施例8

基板を 300°C に加熱してSi膜を形成した。その他の薄膜形成条件は、実施例1と同様にした。得られたSi膜の光伝導度は $10^{-5}\text{ }(\Omega\text{ cm})^{-1}$ であり、基板を加熱しなかった場合の光伝導度 $10^{-9}\text{ }(\Omega\text{ cm})^{-1}$ に比べ著しく向上しており、良好な膜質のSi膜が得られた。

【0105】実施例9

反応ガスとして、0.1%の SiH_4 、0.5%の CH_4 にHeを加え1気圧とした混合ガスを用い、回転電極に印加する電力を 1000 W とし、ガラス基板上に10秒間、SiC薄膜を形成した。得られたSiC薄膜の膜厚は $2.4\text{ }\mu\text{m}$ であり、C/Siの比が98%以上である良好な膜質のSiC薄膜が形成された。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に従う一実施形態を示す斜視図。

【図2】図1に示す実施形態におけるドラム状電極を示す斜視図。

【図3】本発明に従う他の実施形態におけるドラム状電極を示す斜視図。

【図4】図3に示すドラム状電極を用いてプラズマ発生させる状態を示す模式図。

【図5】本発明に従うさらに他の実施形態におけるプラズマ発生状態を示す模式図。

【図6】本発明に従うさらに他の実施形態のドラム状電極を示す斜視図。

【図7】本発明に従うさらに他の実施形態の回転電極を示す斜視図。

【図8】本発明に従うさらに他の実施形態の回転電極を示す斜視図。

【図9】図1及び図2に示す実施形態におけるドラム状電極を用いて薄膜を形成する状態を示す模式図。

【図10】図9に示す薄膜形成により形成されたライン状の薄膜を示す平面図。

【図11】ライン状接地電極を設けずドラム状電極を用いて薄膜を形成する状態を示す模式図。

【図12】本発明に従う実施例において用いた、スパイラル状の凸部及び溝が電極表面に形成されたドラム状電極の回転軸方向の電極表面を示す断面図。

【図13】本発明に従う実施例において用いられる成膜装置の側方断面図。

【図14】本発明に従う実施例において用いられる成膜装置の正面断面図。

【図15】本発明に従う実施例におけるガス循環系を説明するための構成図。

【図16】本発明に従う実施例におけるダクトを示す斜視図。

【図17】図16に示すダクトの配置状態を示す正面図。

【図18】本発明に従う実施例における基板ホルダーの加熱ヒーターを示す斜視図。

【図19】本発明に従う実施例における回転電極表面の絶縁膜を示す断面図。

【図20】本発明に従う実施例における回転電極と基板との間のギャップを測定するシステムを示すための概略構成図。

【符号の説明】

1…ドラム状電極

2…回転軸

3…高周波電源

4…基板

5…ライン状接地電極

6…プラズマ発生領域

7…ライン状薄膜

10, 20, 30…ドラム状電極

11…ストライプ状凸部

12…回転軸

13…プラズマ発生領域

21…ストライプ状凸部

21a…導電性領域

22…絶縁材

22a…絶縁性領域

23…プラズマ発生領域

24…ストライプ状溝

31…螺旋状溝

32…回転軸

40…回転電極

41…円板状電極

42…回転軸

50…回転電極

51, 52…側板

53…線材

54…回転軸

61…ドラム状電極

61a…スパイラル状凸部

61b…スパイラル状溝

70…反応容器

71…回転電極

71a…回転軸

71b…絶縁膜

72a, 72b…軸受け部

73…モーター

74…基板ホルダー

75…テーブル

76…電力伝達部材

77…共振器

79…加熱ヒーター

80…ガス循環系

81…粉末除去フィルタ

82…ドライポンプ

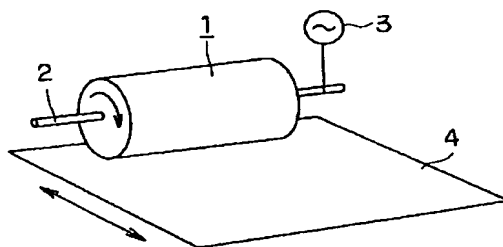
83…SiH₄ 除外装置

87…ダクト

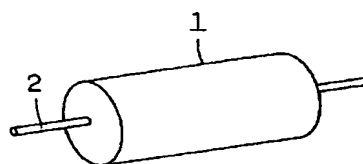
87a…ダクトの吸引口

88…基板

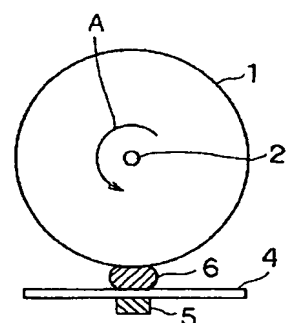
【図1】



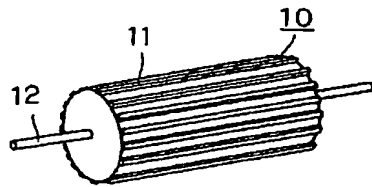
【図2】



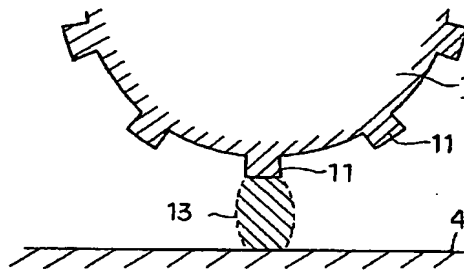
【図9】



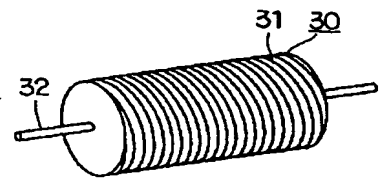
【図 3】



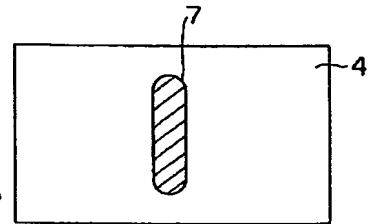
【図 4】



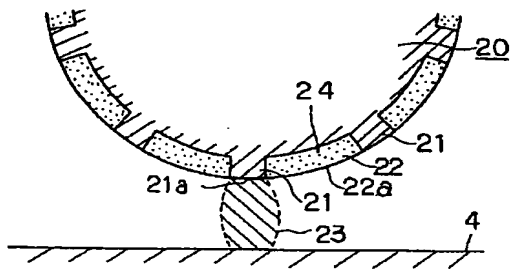
【図 6】



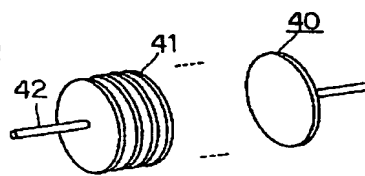
【図 10】



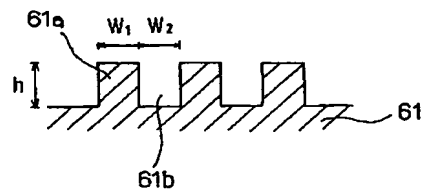
【図 5】



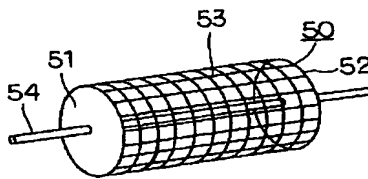
【図 7】



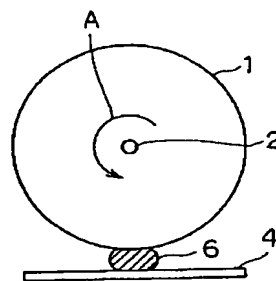
【図 12】



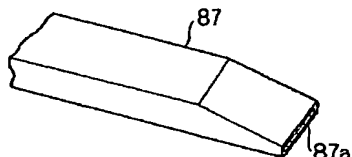
【図 8】



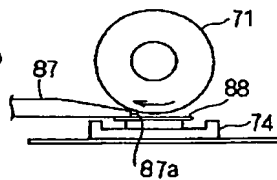
【図 11】



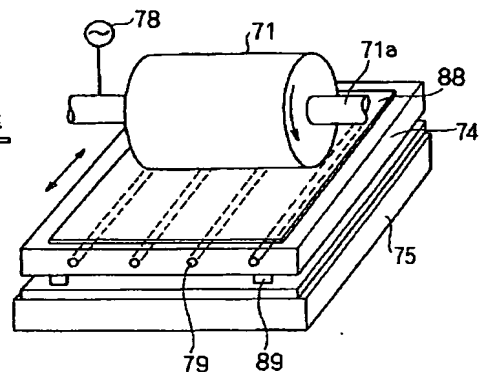
【図 16】



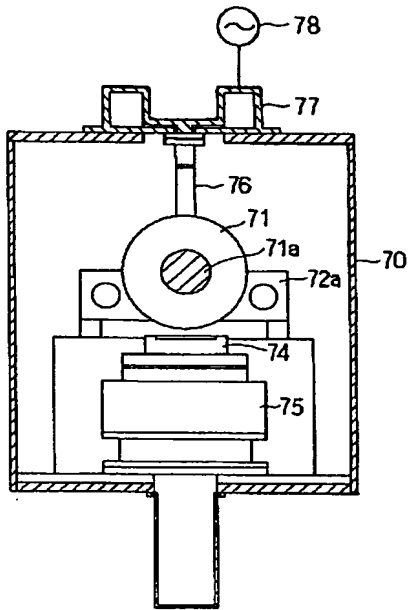
【図 17】



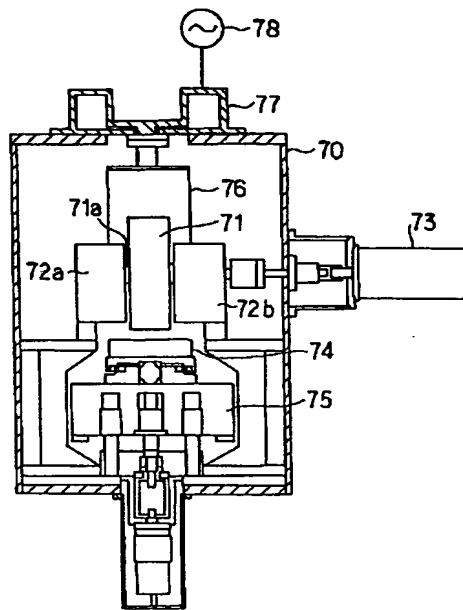
【図 18】



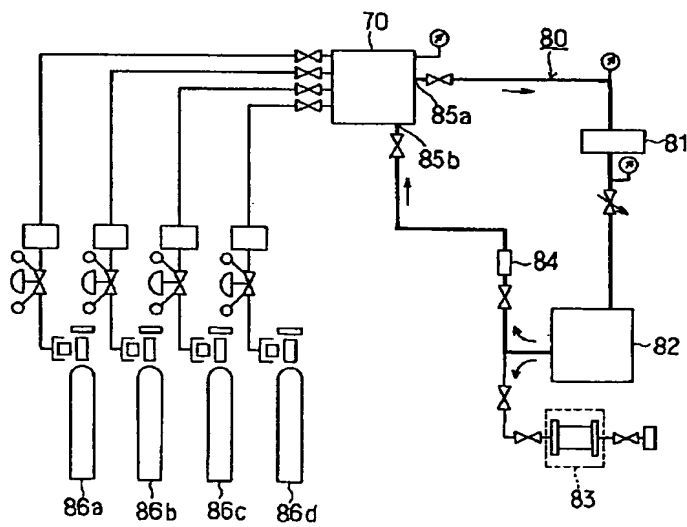
【図13】



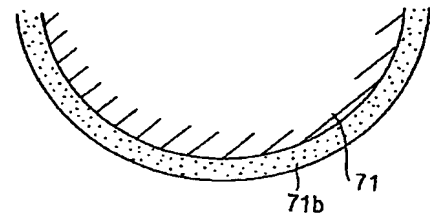
【図14】



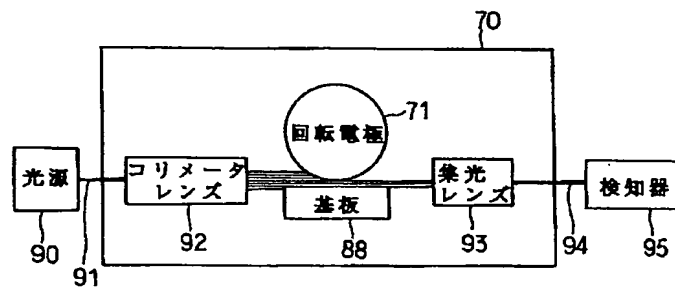
【図15】



【図19】



【図 20】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.